

前 言

根据原建设部《关于印发〈2006年工程建设标准规范制订、修订计划（第一批）〉的通知》（建标〔2006〕77号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制本规程。

本规程主要技术内容是：总则、术语和符号、基本规定、地震作用与作用效应计算、消能器的技术性能、消能减震结构设计、消能部件的连接与构造、消能部件的施工、验收和维护。

本规程以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

本规程由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释，由广州大学负责具体技术内容的解释。在执行过程中，如有意见或建议，请寄送广州大学（地址：广州市大学城外环西路230号，邮政编码：510006）。

本规程主编单位：广州大学

本规程参编单位：中国建筑科学研究院

同济大学

清华大学

东南大学

大连理工大学

哈尔滨工业大学

南京工业大学

北京工业大学

华南理工大学

北京市建筑设计研究院

中国建筑标准设计研究院

太原理工大学
青岛理工大学
云南大学
深圳华侨城房地产有限公司
上海隆诚实业有限公司
上海材料研究所
上海蓝科建筑减震科技有限公司
昆明理工大学
隔而固（青岛）振动控制有限公司
南京丹普科技工程有限公司
四川国方建筑机械有限公司
常州容大结构减振设备有限公司
上海赛弗工程减震技术有限公司

本规程主要起草人员：周福霖 周云 吕西林 程绍革
郭彦林 翁大根 李爱群 李宏男
叶列平 滕军 刘伟庆 闫维明
谭平 吴波 苗启松 曾德民
张文芳 刘文锋 叶燎原 苏经宇
刘维亚 吴从永 陈清祥 徐斌
宫海 徐赵东 潘鹏 潘文
尹学军 刘康安 佟建国 张敏
徐丽 陈明中

本规程主要审查人员：王亚勇 汪大绥 莫庸 娄宇
郁银泉 冯远 薛彦涛 方泰生
章一萍 陈星 吴斌

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
3	基本规定	5
3.1	一般要求	5
3.2	消能器要求	6
3.3	结构分析	6
3.4	连接与节点	7
3.5	消能部件材料与施工	7
3.6	耐久性规定	8
4	地震作用与作用效应计算	9
4.1	一般规定	9
4.2	水平地震作用计算	13
4.3	竖向地震作用计算	18
4.4	地震作用组合的效应	19
5	消能器的技术性能	21
5.1	一般要求	21
5.2	位移相关型消能器	22
5.3	速度相关型消能器	26
5.4	屈曲约束支撑	30
5.5	复合型消能器	32
5.6	消能器性能检验与性能参数确定	32
6	消能减震结构设计	35
6.1	一般规定	35

6.2	消能部件布置原则	35
6.3	消能部件设计及附加阻尼比	36
6.4	主体结构设计	39
6.5	消能减震结构抗震性能化设计	40
7	消能部件的连接与构造	43
7.1	一般规定	43
7.2	预埋件计算	43
7.3	支撑和支墩、剪力墙计算	44
7.4	节点板计算	44
7.5	消能器与结构连接的构造要求	47
8	消能部件的施工、验收和维护	48
8.1	一般规定	48
8.2	消能部件进场验收	48
8.3	消能部件的施工安装顺序	49
8.4	施工测量和消能部件的安装、校正	50
8.5	消能部件安装的焊接和紧固件连接	50
8.6	施工安全和施工质量验收	51
8.7	消能部件的维护	52
	本规程用词说明	54
	引用标准名录	55

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	4
3	Basic Requirements	5
3.1	General Requirements	5
3.2	Requirements of Energy Dissipation Devices	6
3.3	Structural Analysis	6
3.4	Connection and Joint	7
3.5	Materials and Construction of Energy Dissipation Parts	7
3.6	Durability Requirements	8
4	Earthquake Action and Seismic Effects	9
4.1	General Requirements	9
4.2	Horizontal Earthquake Action	13
4.3	Vertical Earthquake Action	18
4.4	Effects of Combinations of Loads and Seismic Actions	19
5	Technical Characteristics of Energy Dissipation Devices	21
5.1	General Requirements	21
5.2	Displacement-Dependent Energy Dissipation Devices	22
5.3	Velocity-Dependent Energy Dissipation Devices	26
5.4	Buckling-Restrained Braces	30
5.5	Composite Energy Dissipation Devices	32
5.6	Test and Determination of Performance Parameters of Energy Dissipation Devices	32

6	Design of Energy Dissipation Buildings	35
6.1	General Requirements	35
6.2	Distribution Principle of Energy Dissipation Devices	35
6.3	Design of Energy Dissipation Parts and Additional Damping Ratio	36
6.4	Design of Main Structure	39
6.5	Performance-Based Design of Energy Dissipation Buildings	40
7	Connecting and Details of Energy Dissipation Parts	43
7.1	General Requirements	43
7.2	Calculation of Embedded Parts	43
7.3	Calculation of Brace, Pier and Shearwall	44
7.4	Calculation of Gusset Plate	44
7.5	Connecting Details between Energy Dissipation Devices and Main Structures	47
8	Construction, Quality Acceptance and Maintenance of Energy Dissipation Parts	48
8.1	General Requirements	48
8.2	Site Acceptance of Energy Dissipation Parts	48
8.3	Installation Sequence of Energy Dissipation Parts	49
8.4	Construction Survey, Installation and Correction of Energy Dissipation Parts	50
8.5	Weld and Fasten Connection of Energy Dissipation Parts	50
8.6	Construction Safety and Acceptance of Construction Quality	51
8.7	Maintenance of Energy Dissipation Parts	52
	Explanation of Wording in This Specification	54
	List of Quoted Standards	55

1 总 则

1.0.1 为了贯彻执行国家的技术经济政策，在消能减震工程中做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于抗震设防烈度为 6~9 度地区新建建筑结构和既有建筑结构抗震加固的消能减震设计、施工、验收和维护。

抗震设防烈度大于 9 度地区及有特殊要求的新建建筑结构和既有建筑结构抗震加固的消能减震设计、施工、验收和维护，应按有关专门规定执行。

1.0.3 按本规程设计与施工的消能减震结构，其抗震设防目标是：当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时，消能部件正常工作，主体结构不受损坏或不需要修理可继续使用；当遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震影响时，消能部件正常工作，主体结构可能发生损坏，但经一般修理仍可继续使用；当遭受高于本地区抗震设防烈度的罕遇地震影响时，消能部件不应丧失功能，主体结构不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

1.0.4 消能减震结构设计、施工、验收和维护，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 消能器 energy dissipation device

消能器是通过内部材料或构件的摩擦，弹塑性滞回变形或黏（弹）性滞回变形来耗散或吸收能量的装置。包括位移相关型消能器、速度相关型消能器和复合型消能器。

2.1.2 消能减震结构 energy dissipation structure

设置消能器的结构。消能减震结构包括主体结构、消能部件。

2.1.3 位移相关型消能器 displacement dependent energy dissipation device

耗能能力与消能器两端的相对位移相关的消能器，如金属消能器、摩擦消能器和屈曲约束支撑等。

2.1.4 速度相关型消能器 velocity dependent energy dissipation device

耗能能力与消能器两端的相对速度有关的消能器，如黏滞消能器、黏弹性消能器等。

2.1.5 复合型消能器 composite energy dissipation device

耗能能力与消能器两端的相对位移和相对速度有关的消能器，如铅黏弹性消能器等。

2.1.6 金属消能器 metal energy dissipation device

由各种不同金属材料（软钢、铅等）元件或构件制成，利用金属元件或构件屈服时产生的弹塑性滞回变形耗散能量的减震装置。

2.1.7 摩擦消能器 friction energy dissipation device

由钢元件或构件、摩擦片和预压螺栓等组成，利用两个或两

个以上元件或构件间相对位移时产生摩擦做功而耗散能量的减震装置。

2.1.8 屈曲约束支撑 buckling-restrained brace

由核心单元、外约束单元等组成，利用核心单元产生弹塑性滞回变形耗散能量的减震装置。

2.1.9 黏滞消能器 viscous energy dissipation device

由缸体、活塞、黏滞材料等部分组成，利用黏滞材料运动时产生黏滞阻尼耗散能量的减震装置。

2.1.10 黏弹性消能器 viscoelastic energy dissipation device

由黏弹性材料和约束钢板或圆（方形或矩形）钢筒等组成，利用黏弹性材料间产生的剪切或拉压滞回变形来耗散能量的减震装置。

2.1.11 消能部件 energy dissipation part

由消能器和支撑或连接消能器构件组成的部分。

2.1.12 消能减震层 energy dissipation layer

布置消能部件的楼层。

2.1.13 附加阻尼比 additional damping ratio

消能减震结构往复运动时消能器附加给主体结构的有效阻尼比。

2.1.14 附加刚度 additional stiffness

消能减震结构往复运动时消能部件附加给主体结构的刚度。

2.1.15 消能器极限位移 ultimate displacement of energy dissipation device

消能器能达到的最大变形量，消能器的变形超过该值后认为消能器失去消能功能。

2.1.16 消能器极限速度 ultimate velocity of energy dissipation device

消能器能达到的最大速度值，消能器的速度超过该值后认为消能器失去消能功能。

2.1.17 消能器设计位移 design displacement of energy dissi-

pation device

消能减震结构在罕遇地震作用下消能器达到的位移值。

2.1.18 消能器设计速度 design velocity of energy dissipation device

消能减震结构在罕遇地震作用下消能器达到的速度值。

2.2 符 号

2.2.1 结构参数

F_{sy} —— 设置消能部件的主体结构层间屈服剪力；

K_t —— 结构抗扭刚度；

T_i —— 消能减震结构的第 i 阶振型周期；

ζ —— 消能减震结构总阻尼比；

ζ_1 —— 主体结构阻尼比；

ω —— 结构自振频率；

Δu_{py} —— 消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移；

Δu_{sy} —— 设置消能部件的主体结构层间屈服位移。

2.2.2 消能器参数

C_D —— 消能器的线性阻尼系数；

C_j —— 第 j 个消能器由试验确定的线性阻尼系数；

F_d —— 消能器在相应位移下的阻尼力；

G —— 黏弹性材料剪切模量；

G' —— 黏弹性材料储存模量；

K_b —— 支撑构件沿消能方向的刚度；

t_v —— 黏弹性消能器的黏弹性材料的总厚度；

W_{c_j} —— 第 j 个消能部件在结构预期层间位移 Δu_j 下往复循环一周所消耗的能量；

$[\gamma]$ —— 黏弹性材料允许的最大剪切应变；

ζ_d —— 消能部件附加给结构的有效阻尼比；

Δu_{dmax} —— 沿消能方向消能器最大可能的位移；

Δu —— 沿消能方向消能器的位移。

3 基本规定

3.1 一般要求

3.1.1 消能减震结构设计可分为新建消能减震结构设计和既有建筑结构消能减震加固设计。

3.1.2 新建消能减震结构的抗震设防目标应符合本规程第 1.0.2 条的规定，既有建筑结构采用消能减震加固时，抗震设防目标不应低于现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 规定。

3.1.3 消能减震结构的抗震性能化设计，应根据建筑结构的实际需求，分别选定针对整个结构、局部部位或关键部位、关键部件、重要构件、次要构件以及建筑构件和消能部件的性能目标。

3.1.4 确定消能减震结构设计方案时，消能部件的布置应符合下列规定：

1 消能部件宜根据需要沿结构主轴方向设置，形成均匀合理的结构体系。

2 消能部件宜设置在层间相对变形或速度较大的位置。

3 消能部件的设置，应便于检查、维护和替换，设计文件中应注明消能器使用的环境、检查和维护要求。

3.1.5 消能器的选择应考虑结构类型、使用环境、结构控制参数等因素，根据结构在地震作用时预期的结构位移或内力控制要求，选择不同类型的消能器。

3.1.6 当消能减震结构遭遇设防地震和罕遇地震后，应对消能器进行检查和维护。

3.1.7 抗震设防烈度为 7、8、9 度时，高度分别超过 160m、120m、80m 的大型消能减震公共建筑，应按规定设置建筑结构的震害反应观测系统，建筑设计应预留观测仪器和线路的位置和

空间。

3.2 消能器要求

3.2.1 消能器选择应符合下列规定：

1 消能器应具备良好的变形能力和消耗地震能量的能力，消能器的极限位移应大于消能器设计位移的 120%。速度相关型消能器极限速度应大于消能器设计速度的 120%。

2 在 10 年一遇标准风荷载作用下，摩擦消能器不应进入滑动状态，金属消能器和屈曲约束支撑不应产生屈服。

3 消能型屈曲约束支撑和屈曲约束支撑型消能器应满足位移相关型消能器性能要求。

4 消能器应具有良好的耐久性和环境适应性。

3.2.2 应用于消能减震结构中的消能器应符合下列规定：

1 消能器应具有型式检验报告或产品合格证。

2 消能器的性能参数和数量应在设计文件中注明。

3.2.3 消能器的抽样和检测应符合下列规定：

1 消能器的抽样应由监理单位根据设计文件和本规程的有关规定进行。

2 消能器的检测应由具备资质的第三方进行。

3.3 结构分析

3.3.1 消能减震结构分析模型应正确地反映不同荷载工况的传递途径、在不同地震动水准下主体结构和消能器所处的工作状态。

3.3.2 消能减震结构的分析方法应根据主体结构、消能器的工作状态选择，可采用振型分解反应谱法、弹性时程分析法、静力弹塑性分析法和弹塑性时程分析法。

3.3.3 消能减震结构的总阻尼比应为主体结构阻尼比和消能器附加给主体结构的阻尼比的总和，结构阻尼比应根据主体结构处于弹性或弹塑性工作状态分别确定。

3.3.4 消能减震结构的总刚度应为结构刚度和消能部件附加给结构的有效刚度之和。

3.3.5 消能器的恢复力模型应采用成熟的模型并经试验验证。

3.3.6 地震作用下消能减震结构的内力和变形分析，宜采用不少于两个不同软件进行对比分析，计算结果应经分析判断确认其合理、有效后方可用于工程设计。

3.3.7 罕遇地震作用下消能器的设计位移计算，应通过结构整体弹塑性分析确定。

3.4 连接与节点

3.4.1 消能器与支撑、支承构件的连接，应符合钢构件连接、钢与钢筋混凝土构件连接、钢与钢管混凝土构件连接构造的规定。

3.4.2 消能器与支撑、连接件之间宜采用高强度螺栓连接或销轴连接，也可采用焊接。

3.4.3 在消能器极限位移或极限速度对应的阻尼力作用下，与消能器连接的支撑、墙、支墩应处于弹性工作状态；消能部件与主体结构相连的预埋件、节点板等应处于弹性工作状态，且不应出现滑移或拔出等破坏。

3.5 消能部件材料与施工

3.5.1 支撑及连接件一般采用钢构件，也可采用钢管混凝土或钢筋混凝土构件。对支撑材料和施工有特殊规定时，应在设计文件中注明。

3.5.2 钢筋混凝土构件作为消能器的支撑构件时，其混凝土强度等级不应低于 C30。

3.5.3 消能部件的安装可在主体结构完成后进行或在主体结构施工时进行，消能器安装完成后不应出现影响消能器正常工作的变形，且计算分析时应考虑消能部件安装次序的影响。

3.6 耐久性规定

3.6.1 消能部件的耐久性应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定，承受竖向荷载作用的消能器应按主体结构的要求进行防火处理。

3.6.2 消能器经过火灾高温环境后，应对消能器进行检查和试验。

4 地震作用与作用效应计算

4.1 一般规定

4.1.1 消能减震结构的地震作用，应符合下列规定：

1 应在消能减震结构的各个主轴方向分别计算水平地震作用并进行抗震验算，各方向的水平地震作用应由该方向消能部件和抗侧力构件承担。

2 有斜交抗侧力构件的结构，当相交角度大于 15° 时，应分别计算各抗侧力构件方向的水平地震作用。

3 质量和刚度分布明显不对称的消能减震结构，应计入双向水平地震作用下的扭转影响；其他情况，应允许采用调整地震作用效应的方法计入扭转影响。

4 8 度及 8 度以上的大跨度与长悬臂消能减震结构及 9 度时的高层消能减震结构，应计算竖向地震作用。

4.1.2 消能减震结构的地震作用效应计算，应采用下列方法：

1 当消能减震结构主体结构处于弹性工作状态，且消能器处于线性工作状态时，可采用振型分解反应谱法、弹性时程分析法。

2 当消能减震结构主体结构处于弹性工作状态，且消能器处于非线性工作状态时，可将消能器进行等效线性化，采用附加有效阻尼比和有效刚度的振型分解反应谱法、弹性时程分析法；也可采用弹塑性时程分析法。

3 当消能减震结构主体结构进入弹塑性状态时，应采用静力弹塑性分析方法或弹塑性时程分析方法。

4.1.3 在弹性时程分析和弹塑性时程分析中，消能减震结构的恢复力模型应包括结构恢复力模型和消能部件的恢复力模型。

4.1.4 采用振型分解反应谱法分析时，宜采用时程分析法进行

多遇地震下的补充计算，当取 3 组加速度时程曲线输入时，计算结果宜取时程分析法包络值和振型分解反应谱法的较大值；当取 7 组及 7 组以上的时程曲线时，计算结果可取时程分析法的平均值和振型分解反应谱法的较大值。

4.1.5 采用时程分析法分析时，应按建筑场地类别和设计地震分组选实际强震记录和人工模拟的加速度时程曲线，其中实际强震记录数量不应少于总数的 2/3，多组时程曲线的平均地震影响系数曲线应与振型分解反应谱法采用的地震影响系数曲线在统计意义上相符，其地震加速度时程的最大值可按表 4.1.5 采用。弹性时程分析时，每条时程曲线计算所得主体结构底部剪力不应小于振型分解反应谱法计算结果的 65%，多条时程曲线计算主体结构底部剪力的平均值不应小于振型分解反应谱法计算结果的 80%。

表 4.1.5 时程分析所用的地震加速度时程曲线的最大值 (cm/s²)

地震影响	6 度	7 度		8 度		9 度
		0.10g	0.15g	0.20g	0.30g	
多遇地震	18	35	55	70	110	140
设防地震	50	100	150	200	300	400
罕遇地震	125	220	310	400	510	620

4.1.6 消能减震结构采用弹塑性时程分析法计算时，根据主体结构构件弹塑性参数和消能部件的参数确定消能减震结构非线性分析模型，相对于弹性分析模型可有所简化，但二者在多遇地震下的线性分析结果应基本一致。

4.1.7 采用静力弹塑性分析方法分析时应满足下列要求：

1 消能部件中消能器和支撑根据连接形式不同，可采用串联模型或并联模型，将消能器刚度和支撑的刚度进行等效，在计算中消能部件采用等刚度的连接杆代替。

2 结构目标位移的确定应根据结构的不同性能来选择，宜采用结构总高度的 1.5% 作为顶点位移的界限值。

3 消能减震结构的阻尼比由主体结构阻尼比和消能部件附加给结构的有效阻尼比组成，主体结构阻尼比应取结构弹塑性状态时的阻尼比。

4.1.8 消能器的恢复力模型宜按下列规定选取：

1 软钢消能器和屈服约束支撑可采用双线性模型、三线性模型或 Wen 模型。

2 摩擦消能器、铅消能器可采用理想弹塑性模型。

3 黏滞消能器可采用麦克斯韦模型。

4 黏弹性消能器可采用开尔文模型。

5 其他类型消能器模型可根据组成消能器的元件是采用串联还是并联具体确定。

6 消能器的恢复力模型参数应通过足尺试验确定。

4.1.9 计算地震作用时，建筑的重力荷载代表值应取结构和构配件自重标准值和各可变荷载组合值之和。各可变荷载的组合系数，应按表 4.1.9 采用。

表 4.1.9 各可变荷载的组合值系数

可变荷载种类		组合值系数
雪荷载		0.5
屋面积灰荷载		0.5
屋面活荷载		不计入
按实际情况计算的楼面活荷载		1.0
按等效均布荷载计算的楼面活荷载	藏书库、档案库	0.8
	其他民用建筑	0.5
吊车悬吊物重力	硬钩吊车	0.3
	软钩吊车	不计入

4.1.10 消能减震结构的地震影响系数应根据烈度、场地类别、设计地震分組和结构自振周期以及阻尼比确定，水平地震影响系数最大值应按表 4.1.10-1 采用，特征周期应根据场地类别和设计地震分組按表 4.1.10-2 采用，计算罕遇地震作用时，特征周

期应增加 0.05s；周期大于 6.0s 的建筑物所采用的地震影响系数应专门研究。

表 4.1.10-1 水平地震影响系数最大值

地震影响	6 度	7 度		8 度		9 度
		0.10g	0.15g	0.20g	0.30g	
多遇地震	0.04	0.08	0.12	0.16	0.24	0.32
设防地震	0.12	0.23	0.34	0.45	0.68	0.90
罕遇地震	0.28	0.50	0.72	0.90	1.20	1.40

表 4.1.10-2 特征周期 (s)

设计地震分组	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	0.20	0.25	0.35	0.45	0.65
第二组	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75
第三组	0.30	0.35	0.45	0.65	0.90

4.1.11 消能减震结构地震影响系数曲线（图 4.1.11）的阻尼调整系数和形状参数应符合下列规定：

1 当消能减震结构的阻尼比为 0.05 时，地震影响系数曲线

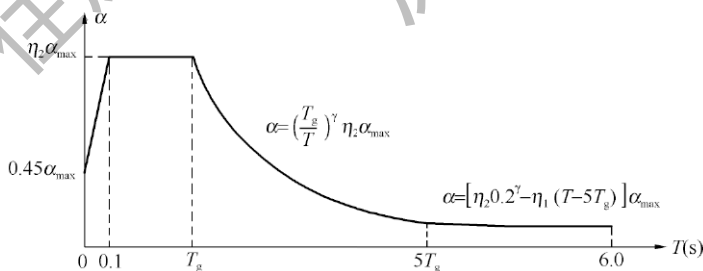


图 4.1.11 地震影响系数

α —地震影响系数； α_{\max} —地震影响系数最大值；

η_1 —直线下降段的下降斜率调整系数； γ —衰减指数；

T_g —特征周期； η_2 —阻尼调整系数； T —结构自振周期

的阻尼调整系数应按 1.0 采用，形状参数应符合下列规定：

- 1) 直线上升段，周期小于 0.1s 的区段。
- 2) 水平段，自 0.1s 至特征周期区段，应取最大值 α_{\max} 。
- 3) 曲线下降段，特征周期至 5 倍特征周期区段，衰减指数应取 0.9。
- 4) 直线下降段，自 5 倍特征周期至 6s 区段，下降斜率调整系数应取 0.02。

2 当消能减震结构的阻尼比不等于 0.05 时，地震影响系数曲线的阻尼调整系数和形状参数应符合下列规定：

- 1) 曲线及直线下降段的衰减指数应按下列式确定：

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \zeta}{0.3 + 6\zeta} \quad (4.1.11-1)$$

式中： γ ——曲线下降段的衰减指数；

ζ ——消能减震结构总阻尼比。

- 2) 直线下降段的下降斜率调整系数应按下列式确定：

$$\eta_1 = 0.02 + \frac{0.05 - \zeta}{4 + 32\zeta} \quad (4.1.11-2)$$

式中： η_1 ——直线下降段的下降斜率调整系数，小于 0 时取 0。

- 3) 阻尼调整系数应按下列式确定：

$$\eta_2 = 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.08 + 1.6\zeta} \quad (4.1.11-3)$$

式中： η_2 ——阻尼调整系数，当小于 0.55 时，应取 0.55。

4.2 水平地震作用计算

4.2.1 采用振型分解反应谱法分析时，不考虑扭转耦联振动影响的结构，应按下列规定计算其地震作用和作用效应：

- 1 结构 j 振型 i 质点的水平地震作用标准值，应按下列公式计算：

$$F_{ji} = \alpha_j \gamma_j X_{ji} G_i \quad (i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m) \quad (4.2.1-1)$$

$$\gamma_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ji} G_i}{\sum_{i=1}^n X_{ji}^2 G_i} \quad (4.2.1-2)$$

式中： F_{ji} —— j 振型 i 质点的水平地震作用标准值（kN）；
 α_j ——相应于 j 振型自振周期的地震影响系数，应按本规程第4.1.11条确定；
 X_{ji} —— j 振型 i 质点的水平相对位移（m）；
 γ_j —— j 振型的参与系数；
 G_i ——集中于 i 质点的重力荷载代表值（kN）。

2 水平地震作用效应（弯矩、剪力、轴向力和变形），应按下列下式确定：

$$S_{Ek} = \sqrt{\sum S_j^2} \quad (4.2.1-3)$$

式中： S_{Ek} ——水平地震作用标准值的效应；
 S_j —— j 振型水平地震作用标准值的效应，可只取前2~3个振型，当基本自振周期大于1.5s或房屋高宽比大于5时，振型个数应适当增加。

4.2.2 消能减震结构计算水平地震作用扭转影响时，应按下列规定计算地震作用和作用效应：

1 规则结构不进行扭转耦联计算时，平行于地震作用方向的两个边榀各构件，其地震作用效应应乘以增大系数。一般情况下，短边可按1.15采用，长边可按1.05采用；当扭转刚度较小时，角边各构件宜按不小于1.30采用，角部构件宜同时乘以两个方向各自的增大系数。

2 按扭转耦联振型分解法计算时，各楼层可取两个正交的水平位移和一个转角共三个自由度，并按下列公式计算结构的地震作用和作用效应。

1) j 振型 i 层的水平地震作用标准值，应按下列公式计算：

$$F_{xji} = \alpha_j \gamma_{ij} X_{ji} G_i \quad (4.2.2-1)$$

$$F_{yji} = \alpha_j \gamma_{vj} Y_{ji} G_i \quad (i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m) \quad (4.2.2-2)$$

$$F_{\varphi_{ji}} = \alpha_j \gamma_{vj} \gamma_i^2 \varphi_{ji} G_i \quad (4.2.2-3)$$

式中： F_{xji} 、 F_{yji} 、 $F_{\varphi_{ji}}$ ——分别为 j 振型 i 层的 x 方向、 y 方向和转角方向的地震作用标准值 (kN)；

X_{xji} 、 Y_{yji} ——分别为 j 振型 i 层质心在 x 、 y 方向的水平相对位移 (m)；

φ_{ji} —— j 振型 i 层的相对扭转转角；

γ_i —— i 层的转动半径，可取 i 层绕质心的转动惯量除以该层质量的商的正二次方根；

γ_{vj} ——计入扭转的 j 振型的参与系数，可按下列公式确定。

当仅取 x 方向地震作用时：

$$\gamma_{vj} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ji} G_i}{\sum_{i=1}^n (X_{ji}^2 + Y_{ji}^2 + \gamma_i^2 \varphi_{ji}^2) G_i} \quad (4.2.2-4)$$

当仅取 y 方向地震作用时：

$$\gamma_{vj} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_{ji} G_i}{\sum_{i=1}^n (X_{ji}^2 + Y_{ji}^2 + \gamma_i^2 \varphi_{ji}^2) G_i} \quad (4.2.2-5)$$

当取于 x 方向斜交的地震作用时：

$$\gamma_{vj} = \gamma_{xj} \cos \theta + \gamma_{yj} \sin \theta \quad (4.2.2-6)$$

式中： γ_{xj} 、 γ_{yj} ——分别由式 (4.2.2-4)、式 (4.2.2-5) 求得的参与系数；

θ ——地震作用方向与 x 方向的夹角 ($^{\circ}$)。

2) 单向水平地震作用下的扭转耦联效应，可按下列公式计算：

$$S_{Ek} = \sqrt{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m \rho_{jk} S_j S_k} \quad (4.2.2-7)$$

$$\rho_{jk} = \frac{8\sqrt{\zeta_j \zeta_k} (\zeta_j + \lambda_T \zeta_k) \lambda_T^{1.5}}{(1 - \lambda_T^2)^2 + 4\zeta_j \zeta_k (1 + \lambda_T^2) \lambda_T + 4(\zeta_j^2 + \zeta_k^2) \lambda_T^2} \quad (4.2.2-8)$$

式中： S_{Ek} ——地震作用标准值的扭转效应；

S_j 、 S_k ——分别为 j 、 k 振型地震作用标准值的效应，可取前 9~15 个振型；

ζ_j 、 ζ_k ——分别为 j 、 k 振型的阻尼比；

ρ_{jk} —— j 振型与 k 振型的耦系数；

λ_T —— k 振型与 j 振型的自振周期比。

3) 双向水平地震作用的扭转耦联效应，可按下列公式中的较大值确定：

$$S_{Ek} = \sqrt{S_x^2 + (0.85S_y)^2} \quad (4.2.2-9)$$

或
$$S_{Ek} = \sqrt{S_y^2 + (0.85S_x)^2} \quad (4.2.2-10)$$

式中： S_x 、 S_y ——分别为 x 向、 y 向单向水平地震作用按式 (4.2.2-7) 计算的扭转效应。

4.2.3 抗震验算时，结构任一楼层的水平地震剪力应符合下式规定：

$$V_{Eki} > \lambda \sum_{j=i}^n G_j \quad (4.2.3)$$

式中： V_{Eki} ——第 i 层对应于水平地震作用标准值的楼层剪力 (kN)；

λ ——剪力系数，不应小于表 4.2.3 规定的楼层最小地震剪力系数值；对竖向不规则结构的薄弱层，尚应乘以 1.15 的增大系数；

G_j ——第 j 层的重力荷载代表值 (kN)。

表 4.2.3 楼层最小地震剪力系数值

类别	6 度	7 度		8 度		9 度
		0.10g	0.15g	0.20g	0.30g	
扭转效应明显或基本周期小于 3.5s 的结构	0.008	0.016	0.024	0.032	0.048	0.064
基本周期大于 5.0s 的结构	0.006	0.012	0.018	0.024	0.036	0.048

注：基本周期介于 3.5s 和 5s 之间的结构，可插入取值。

4.2.4 消能减震结构的楼层水平地震剪力，应按下列原则分配：

1 现浇和装配整体式混凝土楼（屋）盖等刚性楼（屋）盖建筑，宜按抗侧力构件等效刚度的比例分配。

2 普通预制装配式混凝土楼（屋）盖等半刚性楼（屋）盖建筑，可按抗侧力构件等效刚度的比例分配与按抗侧力构件从面积上重力荷载代表值的比例分配结果的平均值。

3 结构计入空间作用、楼盖变形、墙体弹塑性变形和扭转影响时，可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定对本条第 1、2 款的分配结果作适当调整。

4.2.5 消能减震结构抗震计算，一般情况下可不计入地基与结构相互作用的影响；8 度和 9 度时建造于Ⅲ、Ⅳ类场地，采用箱基、刚性较好的筏基和桩箱、桩筏联合基础的钢筋混凝土高层消能减震结构，当结构基本自振周期处于特征周期的 1.2 倍~5 倍范围时，若计入地基与结构动力相互作用的影响，对刚性地基假定计算的水平地震剪力可按下列规定折减，其层间变形可按折减后的楼层剪力计算。

1 高宽比小于 3 的结构，各楼层水平地震剪力的折减系数，可按下式计算：

$$\psi = \left(\frac{T_1}{T_1 + \Delta T} \right)^{0.9} \quad (4.2.5)$$

式中： ψ ——计入地基与结构动力相互作用后的地震剪力折减系数；

T_1 ——按刚性地基假定确定的结构基本自振周期（s）；

ΔT ——计入地基与结构动力相互作用的附加周期 (s)，可按表 4.2.5 采用。

表 4.2.5 附加周期 (s)

烈 度	场地类别	
	Ⅲ类	Ⅳ类
8	0.08	0.20
9	0.10	0.25

2 高宽比不小于 3 的结构，底部的地震剪力按第 1 款规定折减，顶部不折减，中间各层按线性插入值折减。

3 折减后各楼层的水平地震剪力，应符合本规程第 4.2.3 条的规定。

4.3 竖向地震作用计算

4.3.1 9 度时的高层消能减震结构，其竖向地震作用标准值应按下列公式确定 (图 4.3.1)。楼层的竖向地震作用效应可按各构件承受的重力荷载代表值的比例分配，并宜乘以增大系数 1.5。

$$F_{E_{vk}} = \alpha_{vmax} G_{eq} \quad (4.3.1-1)$$

$$F_{vi} = \frac{G_i H_i}{\sum G_j H_j} F_{E_{vk}} \quad (4.3.1-2)$$

式中： $F_{E_{vk}}$ ——结构总竖向地震作用标准值 (kN)；

F_{vi} ——质点 i 的竖向地震作用标准值 (kN)；

α_{vmax} ——竖向地震影响系数的最大值，可取水平地震影响系数最大值的 65%；

G_{eq} ——结构等效总重力荷载，可取其重力荷载代表值的 75% (kN)。

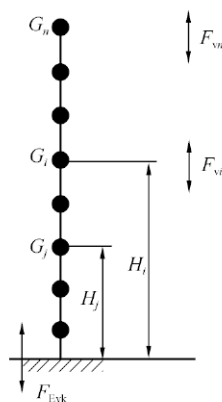


图 4.3.1 竖向地震作用计算简图

4.3.2 平板型网架屋盖和跨度大于 24m 屋架的消能减震结构竖向地震作用标准值，宜取其重力荷载代表值和竖向地震作用系数的乘积；竖向地震作用系数可按表 4.3.2 采用。

表 4.3.2 竖向地震作用系数

结构类型	烈 度	场地类别		
		I	II	III、IV
平板型网架、 钢屋架	8	可不计算(0.10)	0.08(0.12)	0.10(0.15)
	9	0.15	0.15	0.20
钢筋混凝土屋架	8	0.10 (0.15)	0.13 (0.19)	0.13 (0.19)
	9	0.20	0.25	0.25

注：括号中数值用于设计基本地震加速度为 0.30g 的地区。

4.3.3 长悬臂和其他大跨度消能减震结构的竖向地震作用标准值，8 度和 9 度可分别取该结构、构件重力荷载代表值的 10% 和 20%；设计基本地震加速度为 0.30g 时，可取该结构、构件重力荷载代表值的 15%。

4.4 地震作用组合的效应

4.4.1 在多遇地震作用下，结构构件的地震作用效应和其他荷载效应的基本组合的效应设计值应按下式计算：

$$S_d = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} + \psi_w \gamma_w S_{wk} \quad (4.4.1)$$

式中： S_d ——荷载和地震作用组合的效应设计值；

S_{GE} ——重力荷载代表值的效应；

S_{Ehk} ——水平地震作用标准值的效应，尚应乘以相应的增大系数、调整系数；

S_{Evk} ——竖向地震作用标准值的效应，尚应乘以相应的增大系数、调整系数；

S_{wk} ——风荷载标准值的效应；

γ_G ——重力荷载分项系数，一般情况下应采用 1.2，当重力荷载效应对构件承载力有利时，不应大于 1.0；

γ_w ——风荷载分项系数，应采用 1.4；

γ_{Eh} ——水平地震作用分项系数，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 取值；

γ_{Ev} ——竖向地震作用分项系数，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 取值；

ψ_w ——风荷载的组合值系数，一般结构取 0.0，风荷载起控制作用的建筑应取 0.2。

4.4.2 在罕遇地震作用下，结构构件的地震作用效应和其他荷载效应的基本组合的效应应按下式计算：

$$S_d = S_{GE} + \psi_e S_{Ek} + \psi_w S_{wk} \quad (4.4.2)$$

式中： S_{Ek} ——罕遇地震作用标准值的效应；

ψ_e ——地震作用的频率系数，一般结构取 1.0。

4.4.3 结构构件截面抗震验算，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 执行；当进行罕遇地震作用下的抗震验算时，结构构件承载力抗震调整系数均应采用 1.0。

5 消能器的技术性能

5.1 一般要求

5.1.1 消能器的设计使用年限不宜小于建筑物的设计使用年限，当消能器设计使用年限小于建筑物的设计使用年限时，消能器达到使用年限应及时检测，重新确定消能器使用年限或更换。

5.1.2 消能器应具有良好的抗疲劳、抗老化性能，消能器工作环境应满足现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的要求，不满足时应作保温、除湿等相应处理。

5.1.3 消能器的外观应符合下列规定：

- 1 消能器外表应光滑，无明显缺陷。
- 2 消能器需要考虑防腐、防锈和防火时，应外涂防腐、防锈漆、防火涂料或进行其他相应处理，但不能影响消能器的正常工作。
- 3 消能器的尺寸偏差应符合本规程有关规定。
- 4 消能器外观应符合本规程有关规定。

5.1.4 消能器的性能应符合下列规定：

1 消能器中非消能构件的材料应达到设计强度要求，设计时荷载应按消能器 1.5 倍极限阻尼力选取，应保证消能器中构件在罕遇地震作用下都能正常工作。

2 消能器在要求的性能检测试验工况下，试验滞回曲线应平滑、无异常。

5.1.5 消能器应经过消能减震结构或子结构动力试验，验证消能器的性能和减震效果。

5.2 位移相关型消能器

I 金属消能器

5.2.1 金属消能器的外观应符合下列规定：

- 1 金属消能器产品外观应标志清晰、表面平整、无锈蚀、无毛刺、无机械损伤，外表应采用防锈措施，涂层应均匀。
- 2 消能段与非消能段应光滑过渡，不应出现缺陷。
- 3 金属消能器尺寸偏差应为 $\pm 2\text{mm}$ 。

5.2.2 金属消能器的材料应符合下列规定：

- 1 金属消能器可采用钢材、铝等材料制作。
- 2 采用钢材制作的金属消能器的消能部分宜采用屈服点较低和高延伸率的钢材，钢板的厚度不宜超过 80mm ，钢棒直径根据实际情况确定，应具有较强的塑性变形能力和良好的焊接性能。
- 3 金属消能器中材料应符合现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的规定。

5.2.3 金属消能器的力学性能要求，应符合表 5.2.3 规定。

表 5.2.3 金属消能器力学性能要求

	序号	项目	性能要求
常规性能	1	屈服荷载	每个产品的屈服荷载实测值允许偏差应为屈服荷载设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
	2	屈服位移	每个实测产品屈服位移的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
	3	屈服后刚度	每个实测产品屈服后刚度的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
	4	极限荷载	每个实测产品极限荷载的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$

续表 5.2.3

	序号	项目	性能要求
常规性能	5	极限位移	每个实测产品极限位移值不应小于极限位移设计值
	6	滞回曲线面积	任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应为产品设计值的 $\pm 15\%$;产品实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
疲劳性能	1	阻尼力	实测产品在设计位移下连续加载 30 圈,任一循环的最大、最小阻尼力应为所有循环的最大、最小阻尼力平均值的 $\pm 15\%$
	2	滞回曲线	1) 实测产品在设计位移下连续加载 30 圈,任一循环中位移在零时的最大、最小阻尼力应为所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的 $\pm 15\%$; 2) 实测产品在设计位移下,任一循环中阻尼力在零时的最大、最小位移应为所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的 $\pm 15\%$
	3	滞回曲线面积	实测产品在设计位移下连续加载 30 圈,任一循环的滞回曲线面积应为所有循环的滞回曲线面积平均值的 $\pm 15\%$

5.2.4 金属消能器整体稳定和局部稳定应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定,消能器在消能方向运动时,平面外应具有足够的刚度,不能产生翘曲和侧向失稳。

II 摩擦消能器

5.2.5 摩擦消能器的外观应符合下列规定:

1 摩擦消能器产品外观应标志清晰、表面平整、无机械损伤、外表应采用防锈措施,涂层应均匀。

2 摩擦消能器尺寸偏差应为 $\pm 2\text{mm}$ 。

5.2.6 摩擦消能器的材料应符合下列规定:

1 摩擦材料可采用复合摩擦材料、金属类摩擦材料和聚合物类摩擦材料等。

2 摩擦消能器的性能主要由预压力和摩擦片的动摩擦系数确定，摩擦型消能器在正常使用过程中预压力变化不宜超过初始值的 10%。

3 摩擦消能器预压螺栓宜采用高强度螺栓，高强度螺栓的数量 n 可由下式确定，且不应少于 2 个：

$$n \geq \frac{1.2F_{dmax}}{0.9n_t\mu P} \quad (5.2.6)$$

式中： n_t ——传力摩擦面数；

μ ——摩擦面的抗滑移系数，可按表 5.2.6-1 采用；

P ——每个高强度螺栓的预拉力 (kN)，可按表 5.2.6-2 采用；

F_{dmax} ——摩擦消能器最大阻尼力 (kN)。

表 5.2.6-1 摩擦面的抗滑移系数 μ 值

连接处构件表面处理方法	构件的钢号		
	Q235	Q345	Q390
喷砂 (丸)	0.45	0.50	0.55
喷砂 (丸) 后涂无机富锌漆	0.35	0.40	0.40
喷砂 (丸) 后生赤锈	0.45	0.50	0.50
钢丝刷消除浮锈或未经处理的干净轧制表面	0.30	0.35	0.40

表 5.2.6-2 每个高强度螺栓预拉力 P 值 (kN)

螺栓性能等级	螺栓规格					
	M16	M20	M22	M24	M27	M30
8.8 级	80	125	150	175	230	280
10.9 级	100	155	190	225	290	355

4 摩擦消能器中采用的摩擦材料应具有稳定的摩擦系数，不应生锈，并应满足消能器预压力作用下的强度要求。

5 摩擦消能器中的受力元件应具有足够的刚度，不能产生

翘曲和侧向失稳。

5.2.7 摩擦消能器力学性能要求，应符合表 5.2.7 规定。

表 5.2.7 摩擦消能器力学性能要求

	序号	项目	性能要求
常规性能	1	起滑阻尼力	每个产品起滑阻尼力的实测值偏差应为设计值的±15%；实测值偏差的平均值应为设计值的±10%
	2	起滑位移	每个产品起滑位移的实测值偏差应为设计值的±15%；实测值偏差的平均值应为设计值的±10%
	3	初始刚度	每个产品初始刚度的实测值偏差应为设计值的±15%；实测值偏差的平均值应为设计值的±10%
	4	极限荷载	每个产品极限荷载的实测值偏差应为设计值的±15%；实测值偏差的平均值应为设计值的±10%
	5	极限位移	每个实测产品极限位移值不应小于极限位移设计值
	6	滞回曲线面积	任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应为设计值的±15%；实测值偏差的平均值应为设计值的±10%
疲劳性能	1	摩擦荷载	实测产品在设计位移下连续加载 30 圈，任一个循环的最大、最小阻尼力应为所有循环的最大、最小阻尼力平均值的±15%
	2	滞回曲线	1) 实测产品在设计位移下连续加载 30 圈，任一个循环中位移在零时的最大、最小阻尼力应为所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的±15%； 2) 实测产品在设计位移下，任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移应为所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的±15%
	3	滞回曲线面积	实测产品在设计位移下连续加载 30 圈，任一个循环的滞回曲线面积应为所有循环的滞回曲线面积平均值的±15%

5.2.8 摩擦消能器宜实施保养，定期检查摩擦片的氧化、磨耗和锈蚀。

5.3 速度相关型消能器

I 黏滞消能器

5.3.1 黏滞消能器的外观应符合下列规定：

1 黏滞消能器产品外观应表面平整、无机械损伤、外表应采用防锈措施，涂层应均匀。

2 黏滞消能器密封处制作精细，无渗漏。

3 黏滞消能器各构件尺寸允许偏差应为产品设计值的 $\pm 2\%$ 。

5.3.2 黏滞消能器的材料应符合现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的规定。

5.3.3 黏滞消能器力学性能要求，应符合表 5.3.3 的规定。

表 5.3.3 黏滞消能器力学性能要求

序号	项目	性能要求
1	极限位移	每个产品极限位移实测值不应小于极限位移设计值
2	最大阻尼力	每个产品最大阻尼力的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
3	极限速度	每个产品极限速度的实测值不应小于极限速度设计值
4	阻尼指数	每个产品阻尼指数的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
5	滞回曲线面积	任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$

5.3.4 黏滯消能器的疲劳性能要求，应符合表 5.3.4 的规定，并且消能器在试验后应无渗漏、无裂纹。

表 5.3.4 黏滯消能器疲劳性能要求

项目		性能要求
疲劳性能	阻尼指数	每个产品阻尼指数的实测值偏差应为设计值的±15%
	最大阻尼力	实测产品在设计速度下连续加载 30 圈，任一个循环的最大、最小阻尼力应为所有循环的最大、最小阻尼力平均值的±15%
	滞回曲线	1) 实测产品在设计速度下连续加载 30 圈，任一个循环中位移在零时的最大、最小阻尼力应为所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的±15%； 2) 实测产品在设计速度下连续加载 30 圈，任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移应为所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的±15%
	滞回曲线面积	实测产品在设计速度下连续加载 30 圈，任一个循环的滞回曲线面积应为所有循环的滞回曲线面积平均值的±15%

5.3.5 黏滯消能器的其他性能要求，应符合下列规定：

1 黏滯消能器应进行慢速试验和 1.5 倍最大阻尼力的静力过载试验，在极限位移及过载作用下消能器不应出现渗漏、屈服或破损等现象。

2 黏滯消能器在 $-20^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 下，在 $1.0f_1$ 测试频率下，输入位移采用公式 (5.3.5-1)，每隔 10°C 记录消能器的最大阻尼力的实测值偏差应为设计值的±15%。

$$\Delta u = \Delta u_0 \sin(2\pi f_1 t) \quad (5.3.5-1)$$

式中： f_1 ——消能减震结构的第一自振频率 (Hz)；

Δu_0 ——黏滯消能器设计位移 (m)。

3 黏滯消能器在 $0.4f_1$ 、 $0.7f_1$ 、 $1.0f_1$ 、 $1.3f_1$ 、 $1.6f_1$ 测

试频率，输入位移采用公式 (5.3.5-2)，其最大阻尼力的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ 。

$$\Delta u = \Delta u_0 f_1 / f \quad (5.3.5-2)$$

式中： f ——加载频率 (Hz)。

II 黏弹性消能器

5.3.6 黏弹性消能器的外观应符合下列规定：

1 要求黏弹性消能器钢板应平整、光滑、无锈蚀、无毛刺，涂刷防锈涂料两次，钢板坡口焊接，焊缝一级、平整。

2 黏弹性材料表面应密实、平整。

3 黏弹性材料与薄钢板之间应密实、无裂缝。

4 黏弹性消能器的尺寸偏差应满足下列要求：

1) 黏弹性消能器钢构件和黏弹性层长宽的尺寸允许偏差应为产品设计值的 $\pm 2\%$ 。

2) 黏弹性层厚度允许偏差应为产品设计值的 $\pm 3\%$ ，不同地方厚度允许偏差应为 $\pm 5\%$ 。

5.3.7 黏弹性材料性能要求应符合现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的规定，钢材质量指标应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 中碳素结构钢或低合金钢的规定。

5.3.8 在同种测量频率和温度下黏弹性消能器力学性能要求，应符合表 5.3.8 的规定。

表 5.3.8 黏弹性消能器力学性能要求

序号	项 目	性 能 要 求
1	极限应变	每个产品极限位移实测值不应小于极限位移设计值
2	最大阻尼力	每个产品最大阻尼力的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
3	表观剪切模量	每个产品表观剪切模量的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$

续表 5.3.8

序号	项 目	性 能 要 求
4	损耗因子	每个产品损耗因子的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ； 实测值偏差平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
5	滞回曲线面积	任一循环中滞回曲线包围面积实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ； 实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$

5.3.9 在同种测量频率和温度下黏弹性消能器耐久性能要求（包括老化性能、疲劳性能），应符合表 5.3.9 的规定。

表 5.3.9 黏弹性消能器耐久性能要求

	序号	项 目	性 能 要 求
老化性能	1	变形	变化率应为 $\pm 15\%$
	2	最大阻尼力、表观剪切模量、损耗因子	变化率应为 $\pm 15\%$
	3	外观	目视无变化
疲劳性能	1	变形	变化率应为 $\pm 15\%$
	2	外观	目视无变化
	3	表观剪切模量、损耗因子	变化率应为 $\pm 15\%$
	4	最大阻尼力	实测产品在设计位移下连续加载 30 圈，任一循环的最大、最小阻尼力应为所有循环的最大、最小阻尼力平均值的 $\pm 15\%$
	5	滞回曲线	1) 实测产品在设计位移下连续加载 30 圈，任一循环中位移在零时的最大、最小阻尼力应为所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的 $\pm 15\%$ ； 2) 实测产品在设计位移下连续加载 30 圈，任一循环中阻尼力在零时的最大、最小位移应为所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的 $\pm 15\%$
	6	滞回曲线面积	实测产品在设计位移下连续加载 30 圈，任一循环的滞回曲线面积应为所有循环的滞回曲线面积平均值的 $\pm 15\%$

5.3.10 黏弹性消能器在 $-20^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 下，在 $1.0f_1$ 测试频率下，输入位移采用公式(5.3.5-1)，每隔 10°C 记录消能器最大阻尼力的实测值偏差应为设计值 $\pm 15\%$ 。

5.4 屈曲约束支撑

5.4.1 屈曲约束支撑根据需求可采用外包钢管混凝土型屈曲约束支撑、外包钢筋混凝土型屈服约束支撑和全钢型屈曲约束支撑等。

5.4.2 屈曲约束支撑核心单元应符合下列规定：

- 1 核心单元的材料宜采用屈服点低和高延伸率的钢材。
- 2 核心单元截面可设计成“一”字形、“H”字形、“十”字形、环形和双“一”字形等，宽厚比或径厚比限值应符合下列规定：

- 1) 一字形板截面宽厚比取 $10\sim 20$ ；
- 2) 十字形截面宽厚比取 $5\sim 10$ ；
- 3) 环形截面径厚比不宜超过 22 ；
- 4) 其他截面形式，取现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011中心支撑的径厚比或宽厚比的限值。

- 3 核心单元截面采用“一”字形、“十”、“H”字形和环形时，钢板厚度宜为 $10\text{mm}\sim 80\text{mm}$ 。

5.4.3 屈曲约束支撑外约束单元应具有足够的抗弯刚度。

5.4.4 屈曲约束支撑连接段及过渡段的板件应保证不发生局部失稳破坏。

5.4.5 屈曲约束支撑的钢材选用应满足现行国家标准《金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法》GB/T 228.1和《金属材料 室温压缩试验方法》GB/T 7314的规定，混凝土材料等级不宜小于C25。

5.4.6 屈曲约束支撑在多遇地震作用下进入消能工作状态时，其力学性能应符合表5.4.6的规定。屈曲约束支撑在多遇地震作用下不进入消能工作状态时，其力学性能应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的规定。

**表 5.4.6 屈曲约束支撑在多遇地震作用下
进入消能工作状态时力学性能要求**

	序号	项 目	性 能 要 求
常规性能	1	屈服荷载	每个产品屈服荷载的实测值偏差应为设计值的±15%；实测值偏差的平均值应为设计值的±10%
	2	屈服位移	每个产品屈服位移的实测值偏差应为设计值的±15%；实测值偏差的平均值应为设计值的±10%
	3	屈服后刚度	每个产品屈服后刚度的实测值偏差应为设计值的±15%；实测值偏差的平均值应为设计值的±10%
	4	极限荷载	每个产品极限荷载的实测值偏差应为设计值的±15%；实测值偏差的平均值应为设计值的±10%
	5	极限位移	每个产品极限位移的实测值不应小于极限位移设计值
	6	滞回曲线面积	任一循环中滞回曲线包围面积实测值偏差应为设计值的±15%；实测值偏差的平均值应为设计值的±10%
疲劳性能	1	阻尼力	实测产品在设计位移下连续加载 30 圈，任一个循环的最大、最小阻尼力应为所有循环的最大、最小阻尼力平均值的±15%
	2	滞回曲线	1) 实测产品在设计位移下连续加载 30 圈，任一个循环中位移在零时的最大、最小阻尼力应为所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的±15%； 2) 实测产品在设计位移下，任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移应为所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的±15%
	3	滞回曲线面积	实测产品在设计位移下连续加载 30 圈，任一个循环的滞回曲线面积应为所有循环的滞回曲线面积平均值的±15%

5.5 复合型消能器

5.5.1 复合型消能器的外观和材料应满足本规程第 5.2 和 5.3 节规定。

5.5.2 复合型消能器性能应根据位移相关型消能器和速度相关型消能器的性能综合考虑确定。

5.6 消能器性能检验与性能参数确定

5.6.1 消能器性能检验的检验批划分，应符合下列规定：

1 对黏滞消能器，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的 20%，且不应少于 2 个，检测合格率为 100%，该批次产品可用于主体结构。检测合格后，消能器若无任何损伤、力学性能仍满足正常使用要求时，可用于主体结构。

2 对黏弹性消能器，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的 3%，当同一类型同一规格的消能器数量较少时，可在同一类型消能器中抽检总数量的 3%，但不应少于 2 个，检测合格率为 100%，该批次产品可用于主体结构。检测后的消能器不应用于主体结构。

3 对摩擦消能器、金属消能器和复合型消能器，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的 3%，当同一类型同一规格的消能器数量较少时，可在同一类型消能器中抽检总数量的 3%，但不应少于 2 个，检测合格率为 100%，该批次产品可用于主体结构。检测后的消能器不应用于主体结构。

4 对屈曲约束支撑，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的 3%，当同一类型同一规格的消能器数量较少时，可在同一类的屈曲约束支撑中抽检总数量的 3%，但不应少于 2 个，检验支撑的工作性能和拉压反复荷载作用下的滞回性能，检测合格率为 100%，该批次产品可用于主体结构。检测后的屈曲约束支撑不应用于主体结构。

5.6.2 产品检测合格率未达到 100%，应在同批次抽检产品数

量加倍抽检；加倍抽检的检测合格率为 100%，该批次产品可用于主体结构；加倍抽检的检测合格率仍未达到 100%，该批次消能器不能在主体结构中使用。

5.6.3 根据试验数据确定消能器的性能参数应符合下列规定：

1 位移相关型消能器及屈曲约束支撑的性能参数应按下列公式计算：

$$F_d = K_{\text{eff}} \Delta u \quad (5.6.3-1)$$

$$K_{\text{eff}} = \frac{|F_d^+| + |F_d^-|}{|\Delta u^+| + |\Delta u^-|} \quad (5.6.3-2)$$

式中： K_{eff} ——消能器有效刚度（kN/m）；

F_d ——消能器在相应位移下的阻尼力（kN）；

F_d^+ 、 F_d^- ——分别为消能器在相应位移时的正向阻尼力和负向阻尼力（kN）；

Δu ——沿消能方向消能器的位移（m）；

Δu^+ 、 Δu^- ——分别为沿消能方向消能器的正向位移和负向位移值（m）。

2 黏滞消能器的性能参数应按下列公式计算：

$$F_d = C |\Delta \dot{u}|^\alpha \text{sgn}(\Delta \dot{u}) \quad (5.6.3-3)$$

$$C = \frac{4W_c}{\pi \omega_1 (|\Delta u^+| + |\Delta u^-|)^2} \quad (5.6.3-4)$$

式中： α ——黏滞消能器阻尼指数；

C ——消能器阻尼系数[kN/(m·s)]；

ω_1 ——试验加载圆频率；

W_c ——消能器在相应加载位移时滞回曲线所围的面积（N·m）；

Δu^+ 、 Δu^- ——分别为沿消能方向消能器的正向位移和负向位移值（m）；

$\Delta \dot{u}$ ——沿消能方向消能器的相对速度（m/s）。

3 黏弹性消能器的性能参数应按下列公式计算：

$$F_d = K_{\text{eff}} \Delta u + C \Delta \dot{u} \quad (5.6.3-5)$$

$$K_{\text{eff}} = \frac{|F_d^+| + |F_d^-|}{|\Delta u^+| + |\Delta u^-|} \quad (5.6.3-6)$$

$$C = \frac{4W_c}{\pi \omega_1 (|\Delta u^+| + |\Delta u^-|)^2} \quad (5.6.3-7)$$

式中： K_{eff} ——消能器有效刚度 (kN/m)。

6 消能减震结构设计

6.1 一般规定

6.1.1 消能减震结构设计应保证主体结构符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的规定；楼（屋）盖宜满足平面内无限刚性的要求。当楼（屋）盖平面内无限刚性要求不满足时，应考虑楼（屋）盖平面内的弹性变形，并建立符合实际情况的力学分析模型。抗震计算分析模型应同时包括主体结构与消能部件。

6.1.2 当在垂直相交的两个平面内布置消能器，且分别按不同水平方向进行结构地震作用分析时，应考虑相交处的柱在双向地震作用下的受力。

6.1.3 消能减震结构的高度超过现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011规定时，应进行专项研究。

6.1.4 消能减震结构构件设计时，应考虑消能部件引起的柱、墙、梁的附加轴力、剪力和弯矩作用。

6.2 消能部件布置原则

6.2.1 消能部件的布置应符合下列规定：

1 消能部件的布置宜使结构在两个主轴方向的动力特性相近。

2 消能部件的竖向布置宜使结构沿高度方向刚度均匀。

3 消能部件宜布置在层间相对位移或相对速度较大的楼层，同时可采用合理形式增加消能器两端的相对变形或相对速度的技术措施，提高消能器的减震效率。

4 消能部件的布置不宜使结构出现薄弱构件或薄弱层。

6.2.2 消能部件的布置宜使消能减震结构的设计参数符合下列

规定：

1 采用位移相关型消能器时，各楼层的消能部件有效刚度与主体结构层间刚度比宜接近，各楼层的消能部件水平剪力与主体结构的层间剪力和层间位移的乘积之比的比值宜接近。

2 采用黏滞消能器时，各楼层的消能部件的最大阻尼力与主体结构的层间剪力与层间位移的乘积之比的比值宜接近。

3 采用黏弹性消能器时，各楼层的消能部件刚度与结构层间刚度的比值宜接近，各楼层的消能部件零位移时的阻尼力与主体结构的层间剪力与层间位移的乘积之比的比值宜接近。

4 消能减震结构布置消能部件的楼层中，消能器的最大阻尼力在水平方向上分量之和不宜大于楼层层间屈服剪力的 60%。

6.3 消能部件设计及附加阻尼比

6.3.1 消能部件的设计参数应符合下列规定：

1 位移相关型消能器与斜撑、支墩等附属构件组成消能部件时，消能部件的恢复力模型参数应符合下式规定：

$$\Delta u_{py} / \Delta u_{sy} \leq 2/3 \quad (6.3.1-1)$$

式中： Δu_{py} ——消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移 (m)；

Δu_{sy} ——设置消能部件的主体结构层间屈服位移 (m)。

2 黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度应符合下式规定：

$$t_v \geq \Delta u_{dmax} / [\gamma] \quad (6.3.1-2)$$

式中： t_v ——黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度 (m)；

Δu_{dmax} ——沿消能方向消能器的最大可能的位移 (m)；

$[\gamma]$ ——黏弹性材料允许的最大剪切应变。

3 速度线性相关型消能器与斜撑、墙体（支墩）或梁等支承构件组成消能部件时，支承构件沿消能器消能方向的刚度应符合下式规定：

$$K_b \geq 6\pi C_D / T_1 \quad (6.3.1-3)$$

式中： K_b ——支撑构件沿消能器消能方向的刚度 (kN/m)；

C_D ——消能器的线性阻尼系数[kN/(m·s)];

T_1 ——消能减震结构的基本自振周期 (s)。

6.3.2 消能部件附加给结构的实际有效刚度和有效阻尼比,可按下列方法确定:

1 位移相关型消能部件和非线性速度相关型消能部件附加给结构的有效刚度可采用等价线性化方法确定。

2 消能部件附加给结构的有效阻尼比可按下式计算:

$$\zeta_d = \sum_{j=1}^n W_{c_j} / 4\pi W_s \quad (6.3.2-1)$$

式中: ζ_d ——消能减震结构的附加有效阻尼比;

W_{c_j} ——第 j 个消能部件在结构预期层间位移 Δu_j 下往复循环一周所消耗的能量 (kN·m);

W_s ——消能减震结构在水平地震作用下的总应变能 (kN·m)。

3 不计及扭转影响时,消能减震结构在水平地震作用下的总应变能,可按下式计算:

$$W_s = \sum F_i u_i / 2 \quad (6.3.2-2)$$

式中: F_i ——质点 i 的水平地震作用标准值 (一般取相应于第一振型的水平地震作用即可, kN);

u_i ——质点 i 对应于水平地震作用标准值的位移 (m)。

4 速度线性相关型消能器在水平地震作用下所往复一周所消耗的能量,可按下式计算:

$$W_{c_j} = (2\pi^2 / T_1) \sum C_j \cos^2(\theta_j) \Delta u_j^2 \quad (6.3.2-3)$$

式中: T_1 ——消能减震结构的基本自振周期 (s);

C_j ——第 j 个消能器由试验确定的线性阻尼系数 [kN/(m·s)];

θ_j ——第 j 个消能器的消能方向与水平面的夹角 (°);

Δu_j ——第 j 个消能器两端的相对水平位移 (m)。

当消能器的阻尼系数和有效刚度与结构振动周期有关时,可取相应于消能减震结构基本自振周期的值。

5 非线性黏滞消能器在水平地震作用下往复循环一周所消

耗的能量，可按下式计算：

$$W_{cj} = \lambda_1 F_{dj\max} \Delta u_j \quad (6.3.2-4)$$

式中： λ_1 ——阻尼指数的函数，可按表 6.3.2 取值；

$F_{dj\max}$ ——第 j 个消能器在相应水平地震作用下的最大阻尼力 (kN)。

表 6.3.2 λ_1 值

阻尼指数 α	λ_1 值
0.25	3.7
0.50	3.5
0.75	3.3
1	3.1

注：其他阻尼指数对应的 λ_1 值可线性插值。

6 位移相关型和速度非线性相关型消能器在水平地震作用下往复循环一周所消耗的能量，可按下式计算：

$$W_{cj} = \Sigma A_j \quad (6.3.2-5)$$

式中： A_j ——第 j 个消能器的恢复力滞回环在相对水平位移 Δu_j 时的面积 (kN·m)。

6.3.3 采用振型分解反应谱法分析时，结构有效阻尼比可采用附加阻尼比的迭代方法计算。

6.3.4 采用时程分析法计算消能器附加给结构的有效阻尼比时，消能器两端的相对水平位移 Δu_{dj} 、质点 i 的水平地震作用标准值 F_i 、质点 i 对应于水平地震作用标准值的位移 u_i ，应采用符合本规程第 4.1.4 条规定的时程分析结果的包络值。分析出的阻尼比和结构地震反应的结果应符合本规程第 4.1.4 条的规定。

6.3.5 采用静力弹塑性分析方法时，计算模型中消能器宜采用第 4 章给出的恢复力模型，并由实际分析计算获得消能器附加给结构的有效阻尼比，不能采用预估值。位移相关型消能器可采用等刚度的杆单元代替，并根据消能器的力学特性于该杆单元上设置塑性铰，以模拟位移相关型消能器的力学特性。

6.3.6 消能减震结构在多遇和罕遇地震作用下的总阻尼比应分

别计算，消能部件附加给结构的有效阻尼比超过 25% 时，宜按 25% 计算。

6.4 主体结构设计

6.4.1 主体结构的截面抗震验算应符合下列规定：

1 主体结构的截面抗震验算，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定执行。

2 振型分解反应谱法计算地震作用效应时，宜按多遇地震作用下消能器的附加阻尼比取值。

6.4.2 消能子结构的截面抗震验算应符合下列规定：

1 消能子结构中梁、柱、墙构件宜按重要构件设计，并应考虑罕遇地震作用效应和其他荷载作用标准值的效应，其值应小于构件极限承载力。

2 消能子结构中的梁、柱和墙截面设计应考虑消能器在极限位移或极限速度下的阻尼力作用。

3 消能部件采用高强度螺栓或焊接连接时，消能子结构节点部位组合弯矩设计值应考虑消能部件端部的附加弯矩。

4 消能子结构的节点和构件应进行消能器极限位移和极限速度下的消能器引起的阻尼力作用下的截面验算。

5 当消能器的轴心与结构构件的轴线有偏差时，结构构件应考虑附加弯矩或因偏心而引起的平面外弯曲的影响。

6.4.3 消能减震结构的抗震变形验算应符合下列规定：

1 消能减震结构的弹性层间位移角限值应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 取值。

2 消能减震结构的弹塑性层间位移角限值不应大于现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定的限值要求。

6.4.4 主体结构的构造措施应符合下列规定：

1 主体结构的抗震等级应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 取值。

2 当消能减震结构的抗震性能明显提高时，主体结构的抗

震构造措施要求可适当降低，降低程度可根据消能减震主体结构地震剪力与不设置消能部件的结构的剪力之比确定，最大降低程度应控制在1度以内。

6.4.5 消能部件子结构的构造措施应符合下列规定：

1 消能部件子结构的抗震构造措施要求应按设防烈度要求执行。

2 消能部件子结构为混凝土或型钢混凝土构件时，构件的箍筋加密区长度、箍筋最大间距和箍筋最小直径，应满足国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的要求；消能部件子结构为剪力墙时，其端部宜设暗柱，其箍筋加密区长度、箍筋最大间距和箍筋最小直径，不应低于国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中框架柱的要求。

3 消能部件子结构为钢结构构件时，钢梁、钢柱节点的构造措施应按国家现行标准《钢结构设计规范》GB 50017 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 中中心支撑的要求确定。

6.5 消能减震结构抗震性能化设计

6.5.1 消能减震结构应结合建筑实际需求选择性能水准和性能目标。

6.5.2 消能减震结构的性能水准的判别可按表 6.5.2 确定。

表 6.5.2 消能减震结构的性能水准的判别

破坏级别	损坏部位描述			继续使用的可能性	变形参考值
	竖向构件	关键构件	消能部件		
基本完好 (含完好)	无损坏	无损坏	无损坏	一般不需要修理 即可继续使用	$< [\Delta u_e]$
轻微损坏	个别轻微 裂缝(或 残余变 形)	无损坏	无损坏	不需要修理或稍 加修理仍可使用	$1.5[\Delta u_e] \sim 2[\Delta u_e]$

续表 6.5.2

破坏级别	损坏部位描述			继续使用的可能性	变形参考值
	竖向构件	关键构件	消能部件		
中等破坏	多数轻微裂缝(或残余变形),部分明显裂缝(或残余变形)	轻微损坏	无损坏	需要一般修理,采取安全措施后可适当使用,检修消能部件	$3[\Delta u_e] \sim 4[\Delta u_e]$
严重破坏	多数严重破坏或部分倒塌	明显裂缝(或残余变形)	轻微损坏	应排除大修,局部拆除,位移相关型消能器应更换,速度相关型根据检查情况确定是否更换	$< 0.9[\Delta u_p]$
倒塌	多数倒塌	严重破坏	破坏	需拆除	$> [\Delta u_p]$

注:个别指 5%以下,部分指 30%以下,多数指 50%以上。

中等破坏的变形参考值,取规范弹性和弹塑性位移角限值的平均值,轻微损坏取 1/2 平均值。

6.5.3 消能减震结构的抗震性能目标宏观判别可按表 6.5.3 确定。

表 6.5.3 消能减震结构的抗震性能目标宏观判别

地震水准	性能 1	性能 2	性能 3	性能 4
多遇地震	完好	完好	完好	完好
设防地震	完好,正常使用	基本完好,结构构件检修后继续使用,无需更换消能器	轻微损坏,结构构件简单修理后继续使用,无需更换消能器	轻微至接近中等损坏,结构构件需加固后才能使用,根据检修情况确定是否更换消能器

续表 6.5.3

地震水准	性能 1	性能 2	性能 3	性能 4
罕遇地震	基本完好，结构构件检修后继续使用，无需更换消能器	轻微至中等破坏，结构构件修复后继续使用，根据检修情况确定是否更换消能器	中等破坏，结构构件需加固后继续使用，根据检修情况确定是否更换消能器	接近严重破坏、大修，结构构件局部拆除，位移相关型消能器应更换、速度相关型消能器根据检查情况确定是否更换

6.5.4 不同性能目标的消能减震结构设计及模型计算应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

7 消能部件的连接与构造

7.1 一般规定

7.1.1 消能器与主体结构的连接一般分为：支撑型、墙型、柱型、门架式和腋撑型等，设计时应根据工程具体情况和消能器的类型合理选择连接形式。

7.1.2 当消能器采用支撑型连接时，可采用单斜支撑布置、“V”字形和人字形等布置，不宜采用“K”字形布置。支撑宜采用双轴对称截面，宽厚比或径厚比应满足现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的要求。

7.1.3 消能器与支撑、节点板、预埋件的连接可采用高强度螺栓、焊接或销轴，高强度螺栓及焊接的计算、构造要求应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定。

7.1.4 预埋件、支撑和支墩、剪力墙及节点板应具有足够的刚度、强度和稳定性。

7.1.5 消能器的支撑或连接元件或构件、连接板应保持弹性。

7.1.6 与位移相关型或速度相关型消能器相连的预埋件、支撑和支墩、剪力墙及节点板的作用力取值应为消能器在设计位移或设计速度下对应阻尼力的 1.2 倍。

7.2 预埋件计算

7.2.1 预埋件的锚筋应按拉剪构件或纯剪构件计算总截面面积。

7.2.2 预埋件的锚筋和锚板设计应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的规定。

7.3 支撑和支墩、剪力墙计算

7.3.1 支墩、剪力墙应按本规程第 7.1.6 条消能器附加的水平剪力进行截面验算。

7.3.2 支撑和支墩、剪力墙的计算长度应符合下列规定：

1 采用单斜消能部件时，支撑计算长度应取支撑与消能器连接处到主体结构预埋连接板连接中心处的距离。

2 采用人字形支撑时，支撑计算长度应取布置消能器水平梁平台底部到主体结构预埋连接板连接中心处的距离。

3 采用柱型支撑时，支撑计算长度应取消能器上连接板或下连接板到主体结构梁底或顶面的距离。

7.3.3 与速度线性相关型消能器连接的支撑、支墩、剪力墙的刚度应满足本规程第 6.3.1 条的要求，与其他类型消能器连接的支撑、支墩、剪力墙的刚度不宜小于消能器有效刚度的 2 倍。

7.4 节点板计算

7.4.1 节点板设计时应验算节点板构件的截面、节点板与预埋板间高强度螺栓或焊缝的强度。

7.4.2 节点板在抗拉、抗剪作用下的强度应按下列公式计算：

$$\sigma = \frac{N}{\sum (\eta_i A_i)} \leq f \quad (7.4.2-1)$$

$$\eta_i = \frac{1}{\sqrt{1 + 2 \cos^2 \alpha_i}} \quad (7.4.2-2)$$

式中： N ——作用于节点板上消能器作用力，按本规程第 7.1.6 条的规定取值（kN）；

A_i ——第 i 段破坏面的截面积， $A_i = t l_i$ ；当为螺栓连接时，应取净截面面积（ m^2 ）；

η_i ——第 i 段的拉剪折算系数；

f ——钢材的抗拉和抗剪强度设计值（ N/mm^2 ）；

α_i ——第 i 段破坏线与拉力轴线的夹角；

t ——板件厚度 (mm);

l_i ——第 i 段破坏段的长度 (mm), 应取板件中最危险的破坏线的长度 (图 7.4.2)。

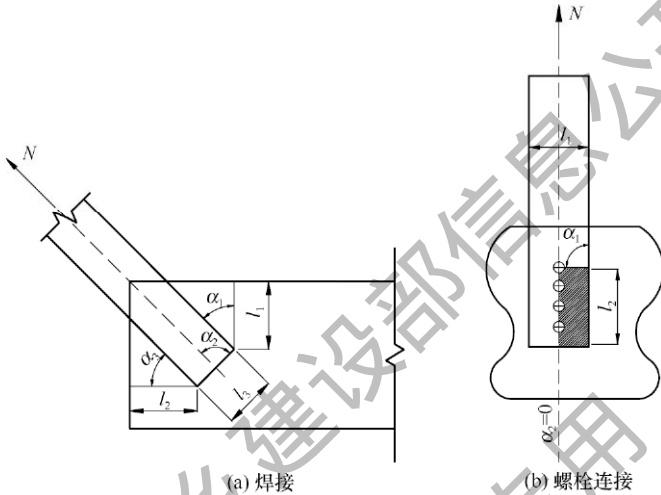


图 7.4.2 节点板的拉、剪撕裂

7.4.3 节点板在压力作用下的稳定性, 应符合下列规定:

1 对梁柱相交处有斜向支撑或消能器的节点, 其节点板 c/t 不得大于 $22\sqrt{235/f_y}$ 。当 c/t 不大于 $15\sqrt{235/f_y}$ 时, 可不进行稳定验算。否则, 按本条第 3 款进行计算。

2 对框架梁上的节点, 其节点板 c/t 不得大于 $17.5\sqrt{235/f_y}$ 。当 c/t 不大于 $10\sqrt{235/f_y}$ 时, 节点板的稳定承载力可取为 $0.8b_e t f$; 当 c/t 大于 $10\sqrt{235/f_y}$ 时, 按本条第 3 款进行计算。

3 设有斜向支撑或消能器的节点板, 在其轴向压力作用下, 节点板 \overline{BA} 、 \overline{AC} 和 \overline{CD} 的稳定性应满足下列要求 (图 7.4.3-1、图 7.4.3-2):

\overline{BA} 区:

$$\frac{b_1}{(b_1 + b_2 + b_3)} N \sin \theta_1 \leq l_1 t_s \varphi_1 f \quad (7.4.3-1)$$

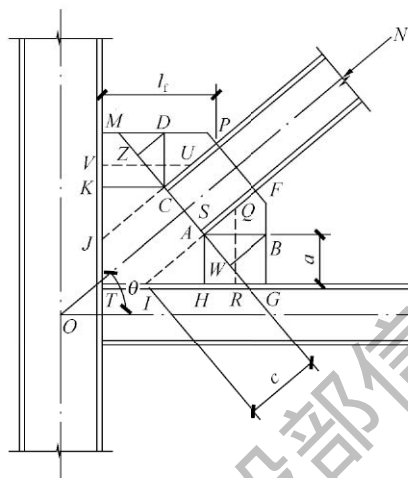


图 7.4.3-1 单斜撑节点板

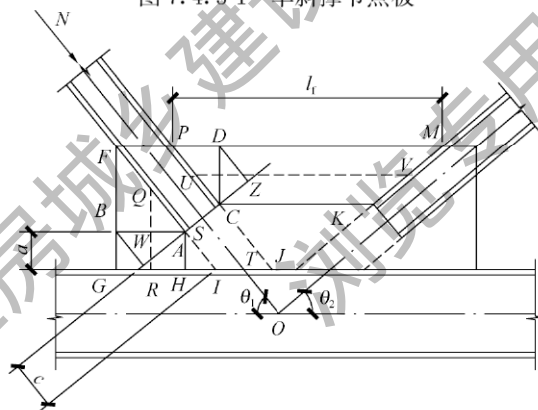


图 7.4.3-2 双斜撑节点板

\overline{AC} 区:

$$\frac{b_2}{(b_1 + b_2 + b_3)} N \leq l_2 t_s \varphi_2 f \quad (7.4.3-2)$$

\overline{CD} 区:

$$\frac{b_3}{(b_1 + b_2 + b_3)} N \cos \theta_1 \leq l_3 t_s \varphi_3 f \quad (7.4.3-3)$$

式中： N ——作用于节点板上的轴力（一般为消能器的极限承载力，kN）；

t_s ——节点板厚度（mm）；

l_1 、 l_2 、 l_3 ——分别为屈折线 \overline{BA} 、 \overline{AC} 、 \overline{CD} 的长度（mm）；

φ_1 、 φ_2 、 φ_3 ——各受压区板件的轴心受压稳定系数，可按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017中b类截面查取；其相应的长细比分别为： $\lambda_1 = 2.77 \frac{\overline{QR}}{t}$ ， $\lambda_2 = 2.77 \frac{\overline{ST}}{t}$ ， $\lambda_3 = 2.77 \frac{\overline{UV}}{t}$ ；式中 \overline{QR} 、 \overline{ST} 、 \overline{UV} 为 \overline{BA} 、 \overline{AC} 、 \overline{CD} 三区受压板件的中线长度；其中 $\overline{ST} = c$ ； b_1 、 b_2 、 b_3 为各屈折线段在有效宽度线上的投影长度， b_1 、 b_2 、 b_3 分别为 \overline{WA} 、 \overline{AC} 、 \overline{CZ} 的长度。

7.4.4 屈曲约束支撑连接节点应能够承担V形、人字形支撑产生的竖向力差值。

7.5 消能器与结构连接的构造要求

7.5.1 预埋件的锚筋应与钢板牢固连接，锚筋的锚固长度宜大于20倍锚筋直径，且不应小于250mm。当无法满足锚固长度的要求时，应采取其他有效的锚固措施。

7.5.2 支撑长细比、宽厚比应符合国家现行标准《钢结构设计规范》GB 50017和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99中中心支撑的规定。

7.5.3 剪力墙、支墩沿长度方向全截面箍筋应加密，并配置网状钢筋。

8 消能部件的施工、验收和维护

8.1 一般规定

8.1.1 消能部件工程应作为主体结构分部工程的一个子分部工程进行施工和质量验收。消能减震结构的消能部件工程也可划分成若干个子分部工程。

8.1.2 消能部件子分部工程的施工，宜根据本规程规定，结合主体结构的材料、体系、消能部件及施工条件，编制施工组织设计，确定施工技术方案。

8.1.3 消能部件子分部工程的施工作业，宜划分为二个阶段：消能部件进场验收和消能部件安装防护。消能器进场验收应提供下列资料：

- 1 消能器检验报告；
- 2 监理单位、建设单位对消能器检验的确认单。

8.1.4 消能部件尺寸、变形、连接件位置及角度、螺栓孔位置及直径、高强度螺栓、焊接质量、表面防锈漆等应符合设计文件规定。

8.2 消能部件进场验收

8.2.1 消能部件的制作单元，宜根据制作、安装和运输条件及消能部件的特点确定。

8.2.2 消能器进场验收时，应具有产品检验报告；消能器类型、规格、尺寸偏差和性能参数，应符合设计文件和现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的规定。

8.2.3 消能器所用的钢材、焊接材料、紧固件和涂料，应具有质量合格证书，并应符合设计文件规定。

8.2.4 支撑或连接件等附属支承构件的制作单位应提供原材料、

产品的质量合格证书。

8.3 消能部件的施工安装顺序

8.3.1 消能部件的施工安装顺序，应由设计单位、施工单位和消能器生产厂家共同商讨确定，并符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。

8.3.2 消能减震结构的施工安装顺序制定，应符合下列规定：

1 划分结构的施工流水段。

2 确定结构的消能部件及主体结构构件的总体施工顺序，并编制总体施工安装顺序表。

3 确定同一部位各消能部件及主体结构构件的局部安装顺序，并编制安装顺序表。

8.3.3 对于钢结构，消能部件和主体结构构件的总体安装顺序宜采用平行安装法，平面上应从中部向四周开展，竖向应从下向上逐渐进行。

8.3.4 对于现浇混凝土结构，消能部件和主体结构构件的总体安装顺序宜采用后装法进行。

8.3.5 对于木结构和装配式混凝土结构，各类构件或部件的总体施工安装顺序，可按本规程相关内容执行。

8.3.6 既有消能减震加固结构，消能部件的总体施工安装顺序可按本规程相关结构形式的消能部件安装方法进行。

8.3.7 同一部位各消能部件的局部安装顺序编制应符合下列规定：

1 确定同一部位各消能部件的现场安装单元、安装连接顺序。

2 编制同一部位各消能部件的局部安装连接顺序，包括消能器、支撑、支墩、连接件的类型、规格和数量。

8.3.8 同一部位消能部件的现场安装单元及局部安装连接顺序，同一部位消能部件的制作单元超过一个时，宜先将各制作单元及连

接件在现场地面拼装为扩大安装单元后，再与主体结构进行连接。

消能部件的现场安装单元或扩大安装单元与主体结构的连接，宜采用现场原位连接。

8.4 施工测量和消能部件的安装、校正

8.4.1 消能部件平面与标高的测量定位、施工测量放样和安装测量定位应符合国家现行标准《工程测量规范》GB 50026 和《建筑变形测量规范》JGJ 8 的要求。

8.4.2 消能部件安装前，准备工作应包括下列内容：

1 消能部件的定位轴线、标高点等应进行复查。

2 消能部件的运输进场、存储及保管应符合制作单位提供的施工操作说明书和国家现行有关标准的规定。

3 按照消能器制作单位提供的施工操作说明书的要求，应核查安装方法和步骤。

4 对消能部件的制作质量应进行全面复查。

8.4.3 消能部件安装的吊装就位、测量校正应符合设计文件的要求。

8.5 消能部件安装的焊接和紧固件连接

8.5.1 消能部件安装接头节点的焊接、螺栓连接，应符合设计文件和国家现行标准《钢结构焊接规范》GB 50661 及《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的规定。

8.5.2 消能部件采用铰接连接时，消能部件与销栓或球铰等铰接件之间的间隙应符合设计文件要求，当设计文件无要求时，间隙不应大于 0.3mm。

8.5.3 消能部件安装连接完成后，应符合下列规定：

1 消能器没有形状异常及损害功能的外伤。

2 消能器的黏滞材料、黏弹性材料未泄漏或剥落，未出现涂层脱落和生锈。

3 消能部件的临时固定件应予撤除。

8.6 施工安全和施工质量验收

8.6.1 消能部件的施工应符合国家现行标准《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80 和《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33 的有关规定，并根据消能部件的施工安装特点，在施工组织设计中制定施工安全措施。

8.6.2 消能部件子分部工程有关安全及功能的见证取样检测项目和检验项目可按表 8.6.2 的规定执行。

表 8.6.2 消能部件子分部工程有关安全及功能的
见证取样检测项目和检验项目

项次	项目	抽检数量及检验方法	合格质量标准
1	见证取样送样检测项目： (1) 消能部件钢材复验；(2) 高强度螺栓预拉力和扭矩系数复验；(3) 摩擦面抗滑移系数复验	《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定	《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定
2	焊缝质量：(1) 焊缝尺寸；(2) 内部缺陷；(3) 外观缺陷	一、二级焊缝按焊缝处数随机抽检 3%，且不应少于 3 处；检验采用超声波或射线探伤及量规、观察	《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定
3	高强度螺栓施工质量：(1) 终拧扭矩；(2) 梅花头检查	按节点数随机抽检 3%，且不应少于 3 个节点；检验方法应符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定	《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定
4	消能部件平面外垂直度	随机抽查 3 个部位的消能部件	符合设计文件及《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定

8.6.3 消能部件子分部工程观感质量检查项目可按表 8.6.3 的规定执行。

表 8.6.3 消能部件子分部工程观感质量检查项目

项次	项 目	抽检方法、数量	合格质量标准
1	消能部件的普通涂层表面	随机抽查 3 个部位的消能部件	均匀、无气泡、无皱纹
2	连接节点	随机抽查 10%	连接牢固，无明显外观缺陷
3	工作范围内的障碍物	随机抽查 10%	在工作范围内无障碍物

8.7 消能部件的维护

8.7.1 消能部件的检查根据检查时间或时机可分为定期检查和应急检查，根据检查方法可分为目测检查和抽样检验。

8.7.2 消能部件应根据消能器的类型、使用期间的具体情况、消能器设计使用年限和设计文件要求等进行定期检查。金属消能器、屈曲约束支撑和摩擦消能器在正常使用情况下可不进行定期检查；黏滞消能器和黏弹性消能器在正常使用情况下一般 10 年或二次装修时应进行目测检查，在达到设计使用年限时应进行抽样检验。消能部件在遭遇地震、强风、火灾等灾害后应进行抽样检验。

8.7.3 消能器目测检查时，应观察消能器、支撑及连接构件等的外观、变形及其他问题。目测检查内容及维护方法应符合表 8.7.3 的规定。

表 8.7.3 消能器检查内容及维护方法

序号	检 查 内 容	维护方法
1	黏滞消能器的导杆上漏油，黏滞阻尼材料泄漏	更换消能器
2	黏弹性材料层龟裂、老化	更换消能器
3	金属消能器产生明显的累积损伤和变形	更换消能器
4	摩擦消能器的摩擦材料磨损、脱落，接触面施加压力的装置产生松弛	更换相关材料 和压力装置

续表 8.7.3

序号	检查内容	维护方法
5	消能器连接部位的螺栓出现松动, 或焊缝有损伤	拧紧、补焊
6	黏滞消能器的导杆、摩擦消能器的外露摩擦界面出现腐蚀、表面污垢硬化结斑结块	及时清除
7	消能器被涂装的金属表面外露、锈蚀或损伤, 防腐或防火涂装层出现裂纹、起皮、剥落、老化等	重新涂装
8	消能器产生弯曲、局部变形	更换消能器
9	消能器周围存在可能限制消能器正常工作的障碍物	及时清除

8.7.4 支撑目测检查时, 应检查支撑、连接部位变形和外观及其他问题等, 目测检查内容及维护处理方法应符合表 8.7.4 的规定。

表 8.7.4 支撑目测检查内容及维护处理方法

序号	目测检查内容	维护方法
1	出现弯曲、扭曲	更换支撑
2	焊缝有裂纹、螺栓、锚栓的螺母松动或出现间隙, 连接件出现错动移位、松动等	拧紧、补焊
3	支撑和连接部位被涂装的金属表面、焊缝或紧固件表面上, 出现金属外露、锈蚀或损伤等	重新涂装

8.7.5 消能部件抽样检验时, 应在结构中抽取在役的典型消能器, 对其基本性能进行原位测试或实验室测试, 测试内容应能反映消能器在使用期间可能发生的性能参数变化, 并能推定可否达到预定的使用年限。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 2 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 3 《钢结构设计规范》GB 50017
- 4 《建筑抗震鉴定标准》GB 50023
- 5 《工程测量规范》GB 50026
- 6 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 7 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
- 8 《钢结构焊接规范》GB 50661
- 9 《金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法》
GB/T 228.1
- 10 《碳素结构钢》GB/T 700
- 11 《金属材料 室温压缩试验方法》GB/T 7314
- 12 《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3
- 13 《建筑变形测量规范》JGJ 8
- 14 《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33
- 15 《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80
- 16 《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82
- 17 《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99
- 18 《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145
- 19 《建筑消能阻尼器》JG/T 209